

ローラーコースターの地震応答性状に関する実験的研究
-全体モデルにおける振動特性の把握-

Experimental Study on Earthquake Response of Roller Coaster
-Grasp of Vibration Characteristics of Overall Model-

○金子春花³, 岡田章¹, 宮里直也¹, 廣石秀造², 根本光³, 熊谷友花³
*Haruka Kaneko³, Akira Okada¹, Naoya Miyasato¹, Shuzo Hiroishi², Hikaru Nemoto³, Yuka Kumagai³

Amusement facilities are specified as work in the Building Standards Law, and depending on the scale, etc., confirmation of structural safety equivalent to buildings is required [1]. In particular, with regard to the structure of the main support part, due to the revision of the notification in 2007, when the height exceeded 60m, safety confirmation by time history response analysis was required. However, time history response analysis for amusement facilities has hardly been carried out, and it is difficult to utilize the accumulated design data. The purpose of this study is to verify the vibration characteristics of the entire model supported by many struts, which have different natural periods and are connected at the apex, aiming at the simplification of the design method and accumulating data for the structure planning of the roller coaster.

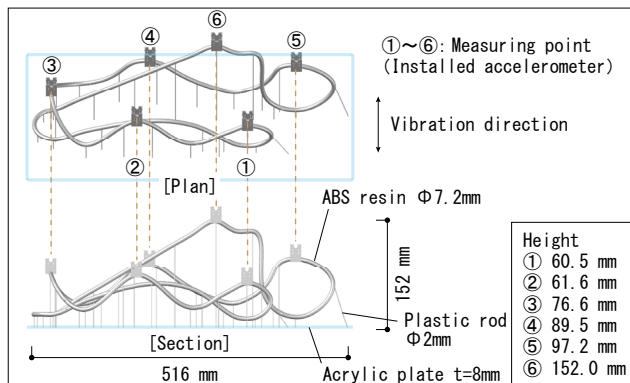
1. はじめに

遊戯施設は、建築基準法で工作物として規定されており、規模等によって建築物と同様の構造安全性の確認が求められる^[1]。特に、主要な支持部分の構造については、平成19年の告示改正によって、高さが60mを超える場合には時刻歴応答解析による安全性の確認が求められることになった。しかし、従来の遊戯施設の設計は、静的解析により断面検討を行ってきたため、遊戯施設を対象とした時刻歴応答解析はほとんど実施されておらず、遊戯施設メーカーが蓄積してきた設計データの利活用が困難な状況である。遊戯施設は複雑な形状を有する 경우가多く、全体を包括する解析モデルの構築は煩雑であり、数値解析手法や構造設計手法の確立が課題とされている。また、ローラーコースターは通常の鋼構造建物とは異なり、塔状比の大きな支柱で構成されているため、1部分を抽出して設計できる可能性がある。しかし、レールにより頂部が接続されているため、支柱同士の相互作用が起こることが想定される。

本報では、高さ60mを超えるローラーコースターの構造計画に供するデータの蓄積と共に、設計手法の簡略化を目標として、異なる固有周期をもつ支柱を頂点部で連結した全体のモデルを対象に振動特性を縮尺模型を用いた動的実験により検証する。

2. 試験体概要

本報では、高さ60mを超えるローラーコースターを検討対象とし、既存の研究^[2]を参考にしながら縮尺1/500の試験体を作製した。試験体は、高低差のある複数の山から構成されるローラーコースターの基本的な形状であるキャメルコースター4箇所と、回転運動を行う垂直ループ2箇所、ブーメラン2箇所を有する(Fig. 1)。それぞれの最頂部には加速度計を設置し、加速度計の質量10gが付加質量となっている。支柱には低剛性のモデルとなるように、直径2mmのプラスチック棒を使用し、



頂点部を連結するレールは3Dプリンターを用いてABS樹脂で作製した。柱脚及び柱頭とレールとの接合は剛接合を想定した。また、柱脚部分は1枚のアクリル板に埋め込むことで、加振時に全体が一体となって振動するように配慮した。

3. 試験概要

複雑な形状のローラーコースターの基本的な構造特性の把握を目的とし、加振試験を行った。測定点は、キャメルコースター部分②、④、⑥の3箇所、垂直ループ部分①、⑤の2箇所、ブーメラン部分③の1箇所の計6箇所の加速度とした(Fig. 2)。入力変位は、振幅20mmとし、振動数を0.5Hz~5.0Hzまでを0.5Hz刻みで変化させ、各測定点の共振振動数を求めた。その後、共振すると思われる範囲を想定し、①~④において0.1Hz~3.0Hz、測定点⑤、⑥において3.1Hz~5.0Hzと定めて、0.1Hz刻みで振動数を変化させ、加振を行った。それぞれ

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大短大・教員・建築 3 : 日大理工・院(前)・建築

れ、加振時間は30秒とした。

4. 実験結果及び考察

4-1. 加速度応答倍率による検討

加振試験において、加速度計により入力加速度と応答加速度を測定した。入力加速度の最大値を応答加速度の最大値で除した「加速度応答倍率」の算出結果をFig.3に示す。本試験では加速度応答倍率が最大の時点で共振すると判断し、共振振動数について検討を行う。図より、①～④の支柱の高さが低い測定点では、比較的小さい振動数で加速度応答倍率が最大値を示した共振振動数：①、④が0.3Hz、②が0.4Hz、③が0.6Hz。一方、⑤、⑥の支柱の高さが高い測定点では、比較的大きい振動数で加速度応答倍率が最大値を示し、⑤の共振振動数が4.7Hz、⑥が4.9Hzとなった。本来、支柱の高さが高い部分は共振振動数は小さくすると想定されるが、本試験では0.5Hz以下を計測しておらず、⑤、⑥においては2次以上の高次モードの出現と考えられる。

4-2. 加速度-時間関係による検討

各測定点の共振振動数における加速度と時間の関係をFig.4、振動性状の詳細をFig.5に示す。①～④の測定点では、入力加速度がほぼ一定であるが、応答加速度は山と谷が顕著に表れている。また、②、③において、最大応答加速度が近い値となっており、柱頭がレールで連結されていることが原因と考えられる。一方、④では入力加速度と応答加速度の値に大きな差がみられなかった。また、測定点⑤、⑥では応答加速度が乱れの少ない一定周期の波となっている。

振動特性として、加振前の仮説において、③は加振方向にレールがあるため、大きく振動しないと考えた。しかし、今回の加振試験では共振振動において大きい応答加速度を確認した。また、④、⑤に着目すると、支柱の高さはほぼ同じだが、共振振動数が大きく異なった。これはレールにより連結されたローラーコースターの構成が原因と考えられる。支柱③は加振方向に対して平行にレールが配置されており、この剛性が高い③とレールにより連結されている④は、相互作用により共振現象が顕著に現れなかったものと考えられる。

5. まとめ

高さ60mを超えるローラーコースターを模擬した縮尺模型を製作して、加振試験を行い、各測定点における共振振動数を把握した。また、ローラーコースターの形状により剛性が異なり、連結した支柱同士は相互に影響することが把握された。

参考文献

- [1] 日本建築設備・昇降機センター：「遊戯施設技術基準の解説」, 2010
- [2] 内田, 他：「ローラーコースターの地震応答性状に関する基礎的研究」, 日本建築学会大会学術講演会梗概集2018号, pp13-18, 2018, 7

謝辞

本研究は, JSPS科研費17K06657の助成により実施された。

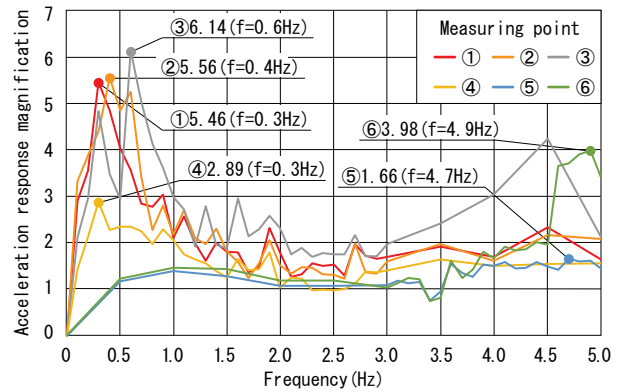


Fig. 3 Acceleration magnification

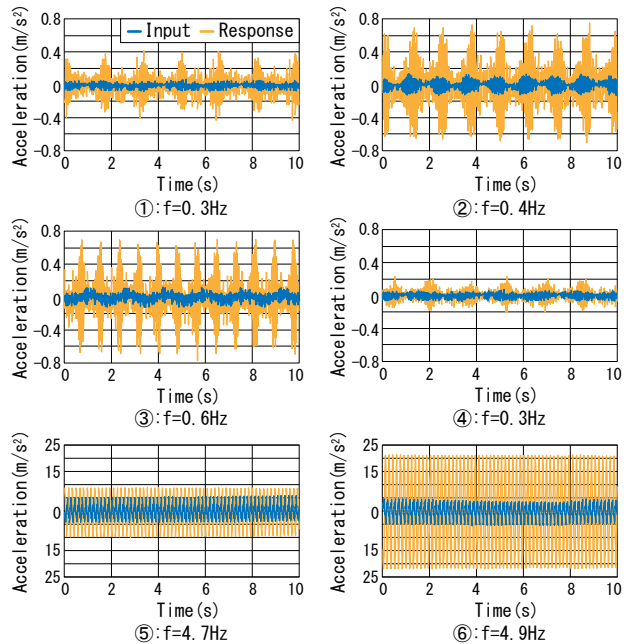


Fig. 4 Acceleration-time relationship

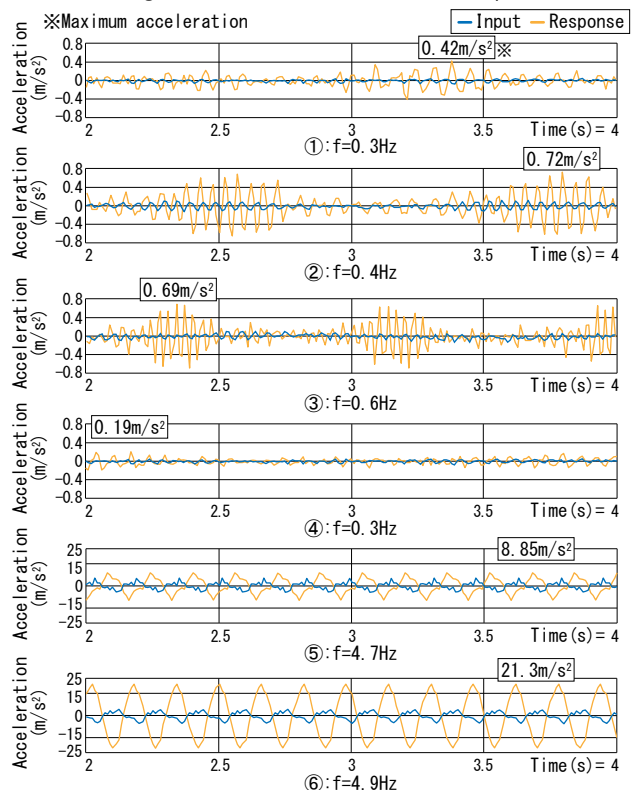


Fig. 5 Acceleration-time relationship (2sec~4sec)